

PENGARUH SUHU DAN PEMADATAN PADA CAMPURAN ASPHALT PERKERASAN AC-WC TERHADAP MARSHALL TEST

Tugas Akhir ini diajukan untuk melengkapi syarat menyelesaikan

Program Strata I pada Fakultas Teknik Program Studi Sipil

Universitas Medan Area, Medan

Disusun Oleh :

ROMULUS SIMANJUNTAK

16.811.0144



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2023

PENGARUH SUHU DAN PEMADATAN PADA CAMPURAN ASPHALT PERKERASAN AC-WC TERHADAP MARSHALL TEST

Tugas Akhir ini diajukan untuk melengkapi syarat menyelesaikan

Program Strata I pada Fakultas Teknik Program Studi Sipil

Universitas Medan Area, Medan

Disusun Oleh :

ROMULUS SIMANJUNTAK

16.811.0144



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2023

Lembar Pengesahan

Judul skripsi : Pengaruh Suhu dan Pemadatan Pada Campuran Aspal Perkerasan
AC-WC Terhadap Marshal Test
Nama : Romulus Simanjuntak
NPM : 168110144
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:

Komisi Pembimbing



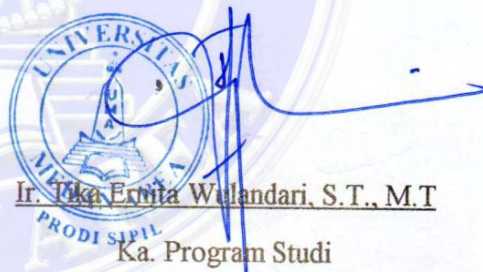
Hermansyah, S.T., M.T

Pembimbing



Dr. Eng. Supriatno, S.T., M.T

Dekan



Ir. Tika Ernita Wulandari, S.T., M.T

Ka. Program Studi

Tanggal Lulus : 28 November 2023

Halaman Pernyataan

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis sendiri. Adapun bagian bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 28 november 2023



Romulus Simanjuntak

168110144

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Romulus Simanjuntak

NPM : 168110144

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Jenis karya : skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (Non-Exclusive Royalti Free-Right)** atas karya ilmiah saya Yang berjudul Pengaruh Suhu dan Pemadatan Pada Campuran Aspal Perkerasan AC-WC Terhadap Marshal Test. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini, Universitas Medan Area Berhak menyimpan, meng-alihmedia/formatkan mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di, Medan

Pada Tanggal 28 november 2023

Yang Menyatakan



(Romulus Simanjuntak)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di salah satu daerah kota medan tepatnya di medan denai perumnas mandala medan. Pada tanggal 16 februari 1993 dari ayah alm. Harauli Simanjuntak dan Ibu saya Perak Linda Sihombing, Penulis merupakan putra ke 3 (Tiga) dari 4 (Empat) bersaudara. Pada tahun 2011 Penulis lulus dari SMA Methodist 8 Medan dan pada tahun 2016 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Penulis merupakan Tamatan DIII dan melanjutkan SI di Universitas medan Area, Medan.



KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis ucapkan kepada Tuhan yang Maha Esa, Karena atas berkat karunia dan rahmat-Nya, Laporan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjan Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Pengaruh Suu dan Pemadatan pada Campuran Aspal Perkerasan AC-WC Terhadap Marshall test selama penyusunan skripsi ini, banyak rintangan yang penulis dapatkan, tetapi berkat bantuan, bimbingan, dorongan, dan Doa dari berbagai pihak akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Melalui kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih atas kerja sama dan dukungan dari berbagai pihak selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini yang ditujukan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan Syah, S.kom. M.kom. Selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Dr. Rahmad syah, S.kom. M.kom. Selaku Dekan Fakultas Tenik Universitas Medan Area.
3. Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T. M.T. Selaku ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Medan Area.
4. Bapak Hermansyah, ST. MT. Selaku Dosen Pembimbing yang telah mengarahkan dan memberikan solusi dalam pembuatan skripsi.
5. Kedua orangtua saya yang saya cintai dan sayangi serta orang-orang terdekat yang telah membantu saya dalam bentuk apapun.

Kemungkinan masih terdapat kekurangan dalam penyusunan skripsi ini oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dalam membangun di waktu masa yang mendatang.

Medan, 2023

Hormat saya



Romulus Simanjuntak
168110144



Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu pada proses pencampuran terhadap lapis aspal beton AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*) gradasi halus pada batas tengah dan batas bawah terhadap parameter *Marshall* dengan acuan Spesifikasi Bina Marga 2010. Dari hasil percobaan yang dilakukan bahwa nilai kadar aspal optimum (KAO) yang digunakan adalah untuk batas tengah menggunakan kadar aspal 5,5% dan untuk batas bawah 6%, setelah itu dilakukan pencampuran variasi suhu pencampuran dari 130°C, 140°C, 150°C, dan 160°C. Untuk campuran Laston AC-WC gradasi halus batas tengah dengan kadar aspal 6% suhu pencampuran dengan menggunakan suhu 130°C, 140°C, 150°C dan 160°C masih memenuhi semua standar parameter *marshall*. Variasi suhu pencampuran yang ideal pada batas tengah berada pada suhu pencampuran 150°C-160°C. Sedangkan pada batas bawah dengan kadar aspal 6% suhu pencampuran antara 140°C-160°C tidak ada yang memenuhi syarat, dikarenakan nilai MQ di bawah nilai minimum yaitu 250 kg/mm.

Kata kunci : **Suhu pencampuran, Spesifikasi 2010, Marshall, Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Gradasi Halus** Wearing Course). Dengan variasi suhu pencampuran Laston 130°C, 140°C, 150°C, dan 160°C.

Abstract

Limit and lower limit of the Marshall parameters with reference to specifications of Bina Marga, 2010. From the results of experiments conducted that the optimum asphalt content is used to middle limit using a asphalt content of 5,5% and 6% for the lower limit after that mixing was done using temperature variation of 130oC, 140oC, 150oC, and 160oC. To a mixture of Laston AC-WC subtle gradations middle limit grading 5,5% asphalt content mixing temperature using a temperature of 130oC, 140oC, 150oC, 160oC and still meet all This study was conducted to determine the effect of temperature variations on the mixing process of the asphalt concrete AC-WC (Asphalt concrete-wearing Course) subtle gradations in the middle standards of marshall parameters. Ideal mixing temperature variations in the middle limit of mixing temperature 150oC-160oC. While the lower limit to the level of 6,8% asphalt content mixing temperatures between 120oC-160oC did not meet the specifications, because the MQ value below the minimum value of 250 kg/mm.

Keywords: Mixing temperature, 2010 Specification, Marshall, Asphalt Concrete-Wearing Course(AC-WC) Subtle Gradation.

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
RIWAYAT HIDUP.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI	x
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Maksud dan Tujuan	2
1.3 Rumusan Masalah.....	4
1.4 Pembatasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Perkerasan Jalan.....	5
2.2 Campuran Aspal Panas	4
2.3 Aspal	5
2.4 Agregat.....	8
2.5 Lapis Aspal Beton (LASTON)	11
2.6 Gradasi	12

2.6.1 Gradasi Seragam/Gradasi Terbuka	12
2.6.2 Gradasi Rapat	13
2.6.3 Gradasi Senjang	13
2.7 Suhu/Temperatur	14
2.8 Karakteristik Campuran Beraspal	14
2.9 Volumetrik Campuran Aspal Beton	17
2.10 Kadar Aspal Rencana	23
2.11 Metode Marshall	
2. 12 Penelitian Terkait	25
BAB III. METODE PENELITIAN	36
3.1 Lokasi Penelitian	36
3.2 Bahan	36
3.3 Peralatan.....	36
3.4 Prosedur Penelitian	38
3.5 Diagram alir	39
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1 Hasil.....	61-67
BAB V. PENUTUP	-68
5.1 Kesimpulan	68
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA.....	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aspal merupakan bahan utama dalam perkerasan jalan. Aspal memiliki beberapa jenis, yaitu aspal alam, aspal keras, aspal cair, dan aspal modifikasi. Aspal memiliki sifat viskoelastis yaitu sifat untuk mencair pada suhu tinggi dan memadat pada suhu rendah. Sifat yang dimiliki aspal tersebut merupakan hal utama yang menjadikan aspal sebagai bahan utama dalam perkerasan jalan karena dapat mengikat bahan-bahan pencampur perkerasan jalan. Perkerasan jalan yang baik adalah perkerasan jalan yang mampu menahan beban lalu lintas. Perkerasan jalan yang digunakan di Indonesia terdiri dari beberapa jenis. Perkerasan jalan yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah lapisan aspal beton atau Laston (*AC/Asphalt Concrete*). Lapisan aspal beton banyak digunakan karena jenis perkerasan ini memiliki nilai stabilitas dan fleksibilitas yang baik. Agregat kasar, agregat halus, agregat sedang, bahan pengisi (*filler*), dan aspal merupakan bahan-bahan pencampur lapisan aspal beton. Bahan-bahan pencampurs ini harus memiliki karakteristik yang sesuai dengan persyaratan yang sudah ada agar perkerasan jalan aspal beton memiliki stabilitas dan fleksibilitas yang baik. Bahan pengisi (*filler*) dalam campuran aspal beton adalah bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm). Macam bahan pengisi yang dapat digunakan ialah abu batu, kapur padam, *portland cement* (PC), debu dolomite, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Bahan pengisi bertujuan untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur. Keuntungan lain dengan

adanya bahan pengisi adalah karena banyak terserap dalam bahan bitumen maka akan menaikkan volumenya. Selain itu bahan pengisi (*filler*) dapat mengurangi volume pori-pori atau rongga sehingga dapat meningkatkan kepadatan dan dapat menurunkan permeabilitas campuran aspal. Kadar bahan pengisi (*filler*) pada campuran beraspal sangat mempengaruhi sifat campuran beraspal tersebut, jika terlalu banyak kadar bahan pengisi maka campuran tersebut akan menjadi kaku dan mudah retak. Namun sebaliknya apabila kadar bahan pengisi pada campuran terlalu sedikit maka akan membuat campuran tersebut menjadi sangat lentur dan muda terdeformasi oleh beban lalu lintas sehingga jalan tersebut akan bergelombang. Pada penelitian ini kadar bahan pengisi (*filler*) sebesar 2% dari berat total campuran. Jenis bahan pengisi yang digunakan pada penelitian ini adalah semen *portland* tipe I. Penelitian ini mengacu pada spesifikasi teknis jalan Bina Marga tahun 2010 revisi I.

1.2 Maksud dan Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran Laston (HMA) berdasarkan variasi temperature pada proses pemadatan campuran yang menggunakan aspal shell penetrasi 60/70. Penelitian ini juga bertujuan mengkaji pengaruh variasi pada proses pemadatan campuran Laston (HMA) dan mengkaji nilai deformasi campuran aspal beton dengan penetrasi 60/70 akibat variasi temperature dan jumlah tumbukan.

1.3 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh suhu dan pemadatan pada proses pemadatan terhadap campuran aspal dengan parameter ukuran tes uji marshall pada lapisan beton (AC-WC) dengan gradasi kasar dan berapa suhu optimum yang akan digunakan pada campuran aspal

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur pada proses pencampuran aspal beton terhadap nilai stabilitas *Marshall* dengan melakukan proses pengujian di laboratorium. Ruang lingkup dan batasan masalah pada penelitian ini adalah :

- Tipe campuran yang digunakan adalah *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) gradasi kasar yang dibatasi oleh batas bawah dan batas tengah, dengan menggunakan spesifikasi umum Bina Marga 2010.
- Penelitian ini dilakukan hanya pada variasi suhu 155°C, 145°C, 135°C.
- Penelitian ini dilakukan di laboratorium tidak menjangkau sampai kelapangan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi pentingnya pengaruh suhu saat pemadatan aspal sehingga proses pembuatan jalan dapat sesuai standard an dampaknya jalan tersebut lebih tahan lama sesuai dengan umur perencanaan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah bagian dari jalur lalu lintas, yang bila kita perhatikan secara struktural pada penampang struktur dalam kedudukan yang paling sentral dalam suatu badan jalan. Saat ini perkerasan jalan menjadi suatu komponen yang sangat penting untuk kepentingan dan kelancaran pergerakan lalu lintas yang terdiri dari lapis permukaan (*surface course*), lapis pondasi atas (*base course*), lapis pondasi bawah (*subbase course*), lapisan tanah dasar (*subgrade*). Pada umumnya perkerasan jalan terdiri dari 3 jenis, yaitu:

1. Perkerasan Lentur (*flexible pavement*)
2. Perkerasan Kaku (*rigid pavement*)
3. Perkerasan Komposit (*composite pavement*)

2.2 Campuran Aspal Panas

Campuran aspal panas merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Untuk mengeringkan agregat dan mendapatkan tingkat kecairan yang cukup dari aspal sehingga diperoleh kemudahan untuk mencampurnya, maka kedua material harus dipanaskan dulu sebelum dicampur. Karena dicampur dalam keadaan panas maka seringkali disebut sebagai "*hot mix*".

2.3 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berbentuk padat sampai agak padat pada suhu ruang. Jika dipanaskan sampai suhu tertentu aspal akan mencair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau masuk ke dalam pori-pori yang ada pada waktu penyiraman pada perkerasan macadam atau pelaburan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya yang disebut dengan sifat *thermoplastis* (Silvia Sukirman, 1995). Aspal yang umum digunakan yaitu aspal yang berasal dari destilasi minyak bumi dan disamping itu pula mulai banyak juga dipergunakan aspal alam yang berasal dari pulau Buton. Aspal minyak yang dipergunakan dalam konstruksi perkerasan jalan raya merupakan proses hasil residu dari destilasi minyak bumi, sering disebut aspal semen. Aspal semen bersifat mengikat agregat pada campuran aspal beton dan memberikan lapisan kedap air, serta tahan terhadap pengaruh asam, basa, dan garam. Sebagai salah satu bahan konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan komponen kecil yang umumnya hanya terdiri dari 4 % - 10 % berdasarkan berat atau 10 % - 15 % dari volume, namun merupakan komponen yang relatif mahal. Sifat-sifat aspal adalah sebagai berikut :

1. Penetrasi, yaitu sifat yang menunjukkan tingkat kekerasan aspal.
2. Titik lembek (*softening point*), yaitu suhu dimana aspal mulai melembek.

Aspal merupakan material yang *thermoplastis*, berarti akan menjadi keras atau lebih kental jika suhu berkurang dan akan menjadi lunak atau lebih cair jika suhu bertambah.
3. Titik nyala (*flash point*), yaitu suhu saat aspal mulai mengeluarkan api dalam hitungan detik tertentu dan ketahanan aspal terhadap suhu panas. Berat jenis,

yaitu perbandingan berat aspal terhadap berat air sehingga dapat diketahui kuantitas pemakaian aspal dalam pelaksanaan (banyaknya aspal dalam campuran).

4. Kekentalan (viscosity), yaitu sifat yang menyatakan sulit mudahnya suatu bahan (aspal) mengalir.
5. Kelekatan pada Bitumen, yaitu sifat yang menunjukkan baik tidaknya aspal melekat pada batuan.
6. Kadar air, yaitu jumlah air yang terkandung dalam aspal.
7. Daktilitas, yaitu sifat plastis aspal dan kohesi dalam aspal sendiri.
8. Kelarutan dalam organik, yaitu sifat-sifat yang memastikan aspal tidak tercampur dengan material luar.

Aspal yang digunakan sebagai bahan perkerasan jalan terdiri dari aspal alam dan aspal buatan:

❖ Aspal alam

Merupakan aspal yang berasal dari proses alamiah, terdiri dari aspal danau (aspal dari Bermudez, Trinidad) dan aspal gunung (aspal dari pulau Buton).

❖ Aspal buatan

Aspal buatan dibuat dari minyak bumi, sebagai bahan baku pada umumnya minyak bumi yang banyak mengandung aspal dan sedikit paraffin.

Aspal buatan terdiri dari aspal minyak, dan ter. Aspal minyak dengan bahan dasar aspal dibedakan menjadi :

2.3.1 Aspal keras

Aspal jenis ini merupakan aspal murni, dimana sifat aspal ini ditunjukkan melalui derajat kekerasan yang disebut penetrasi dan dapat diketahui melalui percobaan penetrasi. Nilai penetrasi yang tinggi menunjukkan aspal tersebut semakin lembek. Aspal keras dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal penetrasi tinggi digunakan untuk daerah yang bercuaca dingin atau lalu lintas dengan volume sedang atau rendah. Di negara kita umumnya digunakan Aspal penetrasi 60/70 atau Aspal penetrasi 80/100.

2.3.2 Aspal cair

Aspal cair merupakan suatu pencampuran aspal semen dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi.

2.3.3 Aspal emulsi

Aspal emulsi adalah aspal yang lebih cair daripada aspal cair dan mempunyai sifat dapat menembus pori-pori halus dalam batuan, yang tidak dapat dilalui oleh aspal cair biasa. Berikut ini adalah Tabel 1 yang berisi spesifikasi dari aspal keras penetrasi 60/70 yang sering digunakan dalam pelaksanaan perkerasan di Indonesia.

Tabel 1. Spesifikasi aspal keras

No	Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi, 25 °C, 100 gr, 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60 – 70
2	Viskositas 135 °C	SNI 06-6441-1991	385
3	Titik Lembek °C	SNI 06-2434-1991	≥ 48
4	Daktilitas pada 25 °C	SNI 06-2432-1991	≥ 100
5	Titik Nyala (oC	SNI 06-2433-1991	≥ 232
6	Kelarutan dlm Toluene %	ASTM D 5546	≥ 99
7	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	$\geq 1,0$
8	Berat yang Hilang, %	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$

2.4 Agregat

Agregat atau batu, atau granular material adalah material berbutir yang keras dan kompak. Istilah agregat mencakup batu bulat, batu pecah, abu batu, dan pasir. Pada campuran beraspal agregat memberikan kontribusi sampai 90 % - 95 % terhadap campuran, sehingga sifat-sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu dari kinerja campuran tersebut. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi

perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kelompok yaitu:

- Kekuatan dan keawetan (*strength and durability*) lapisan perkerasan dipengaruhi oleh gradasi, ukuran maksimum, kadar lempung, kekerasan dan ketahanan (*toughness and durability*) bentuk butir serta tekstur permukaan.
- Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, yang dipengaruhi oleh porositas, kemungkinan basah dan jenis agregat yang digunakan.
- Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, yang dipengaruhi oleh tahanan geser (*skid resistance*) serta campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan (*bituminous mix workability*).

Secara umum agregat yang digunakan dalam campuran beraspal ini di bagi atas dua fraksi, yaitu:

2.4.1 Agregat Kasar

Frakasi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.8 (2,36 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet, dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan. Agregat yang digunakan dalam lapisan perkerasan jalan ini adalah agregat yang memiliki diameter agregat antara 2,36 mm sampai 19 mm. Berikut ini adalah Tabel 2 yang berisi spesifikasi dari aspal keras penetrasi 60/70.

Tabel 2. Spesifikasi aspal keras

Pengujian	Standar	Nilai
kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12%
Abrasi dengan mesin los angeles	SNI 2417:2008	Maks.30%
- campuran AC bergradasi kasar		Maks.40%
- Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya		
kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Min.95%
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10cm)	DoT's Pennsylvania Test	95/90 ¹
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥10cm)	Method,PTM No.621	80/75 ¹
Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791	Maks.10%

	Perbandingan 1:5	
Material lolos ayakan No.200	SNI 03-4142- 1996	Maks.1-2%

sumber: spesifikasi Dinas Pekerjaan Umum 2010.

2.4.2 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan merupakan pasir atau pengayakan batu pecah (abu batu) yang lolos ayakan No. 8 (2,36 mm). Dalam pencampuran aspal persentase maksimum agregat halus yang disarankan untuk Laston (AC) adalah 15 %. Sama halnya dengan agregat kasar, agregat halus yang digunakan merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung ataupun bahan lainnya yang tidak dikehendaki. Fungsi agregat halus adalah sebagai berikut:

- Menambah stabilitas dari campuran dengan memperkuat sifat saling mengunci dari agregat kasar dan juga untuk mengurangi rongga udara agregat kasar.
- Semakin kasar tekstur permukaan agregat halus akan menambah stabilitas campuran dan menambah kekasaran permukaan.
- Agregat halus pada #8 sampai #30 penting dalam memberikan kekasaran yang baik untuk kendaraan pada permukaan aspal.
- Agregat halus pada #30 sampai #200 penting untuk menaikkan kadar aspal, akibatnya campuran akan lebih awet.

Berikut adalah Tabel 3 yang berisikan ketentuan mengenai agregat

Tabel 3. Ketentuan agregat halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50% untuk SS, HRS dan AC bergradasi halus Min 70% untuk AC Bergradasi kasar
Material lolos ayakan NO.200	SNI 03-4428-1997	Maks.8%
Kadar lempung	SNI 3423:2008	Maks.1%
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10cm)	AASHTO TP-33	Min.45%

Sumber: Dokumen pelelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan konstruksi BAB VII spesifikasi umum 2010 divisi 6 tabel 6.3.2(2a)

2.4.3 Bahan Pengisi

Menurut spesifikasi BM.2005, bahan pengisi (*filler*) adalah bahan pengisi yang lolos saringan No. 200 tidak kurang dari 75 % terhadap beratnya dan mempunyai sifat *non plastis*. *Filler* biasanya dipakai bahan-bahan seperti abu batu, kapur padaman, semen (*PC*), dan bahan *non plastis* lainnya. Penggunaan bahan pengisi campuran beton aspal adalah sebagai berikut:

- Dapat berfungsi ganda dalam campuran beton aspal, yaitu sebagai bagian dari agregat bahan pengisi akan mengisi rongga dan menambahkan bidang kontak antara butiran agregat. Kemudian

apabila dicampur dengan aspal bahan pengisi akan membentuk pengikat sehingga akan meningkatkan kekuatan campuran.

- Penambahan bahan pengisi pada aspal akan meningkatkan konsistensi aspal.
- Viskositas campuran aspal bahan pengisi pada suhu tinggi sangat bervariasi pada kisaran yang lebar, tergantung pada jenis bahan pengisi dan kadarnya.
- Bahan pengisi yang berkonsentrasi tinggi akan menciptakan hasil yang baik antara viskositas dengan pemadatan campuran. Terdapat korelasi yang baik antara stabilitas campuran aspal dan kekentalan aspal pada pemadatan campuran dengan kadar *void* yang sama.

2.5 Lapis Aspal Beton (LASTON)

Laston atau lapis Aspal Beton adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Material agregatnya terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang bergradasi baik yang dicampur dengan *penetration grade* aspal. Kekuatan yang didapat terutama berasal dari sifat mengunci (*interlocking*) agregat dan juga sedikit dari mortar pasir, *filler*, dan aspal. Pembuatan LASTON dimaksudkan untuk memberikan daya dukung dan memiliki sifat tahan terhadap keausan akibat lalu lintas, kedap air, mempunyai nilai struktural, mempunyai nilai stabilitas yang tinggi dan peka terhadap penyimpangan perencanaan dan pelaksanaan. Berdasarkan fungsinya aspal beton dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

2.5.1 Sebagai lapis permukaan (lapis aus) yang tahan terhadap cuaca, gaya geser, dan tekanan roda serta memberikan lapis kedap air yang dapat melindungi lapis di bawahnya dari rembesan air dikenal dengan nama *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*.

2.5.2 Sebagai lapis pengikat atau lapis antara yang dikenal dengan nama *Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)*.

2.5.3 Sebagai lapis pondasi, jika dipergunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan jalan, dikenal dengan nama *Asphalt Concrete-Base (AC-Base)*. Ketentuan sifat-sifat campuran beraspal dikeluarkan oleh Dinas Permukiman dan Prasarana Wilayah bersama-sama dengan Bina Marga dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Ketentuan sifat-sifat campuran lapis aspal beton (LASTON)

Sifat-sifat Campuran		LASTON					
		Lapis Aus		Lapis Antar		Pondasi	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar Aspal Efektif (%)	Min.	5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Penyerapan Aspal (%)	Maks.	1,2					
Jumlah Tumbukan per		75				112	

Bidang				
Rongga dalam Campuran (%)	Min.	3,5		
	Maks	5,0		
Rongga dalam Agregat (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	63	60
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800	1800	
Pelelehan (mm)	Min.	3,0	4,5	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250	300	

sumber: Dokumen pelelangan nasional pekerjaan jasa pelaksana konstruksi BAB VII spesifikasi umum divisi 6 tabel 6.3.3(1c)

2.6 Gradasi

Ukuran butiran agregat dan persentase berat dari setiap jenis agregat yang diperlukan, ditentukan dalam persyaratan teknisnya. Menurut Sukirman (2003), gradasi adalah susunan butiran agregat sesuai ukurannya. Ukuran butir agregat akan dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan. Gradasi agregat dapat dibedakan atas:

2.6.1 Gradasi seragam/gradasi terbuka

Gradasi seragam (*uniform graded*)/gradasi terbuka adalah agregat dengan ukuran yang hampir sama/sejenis atau mengandung agregat

halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang, berat volume kecil.

2.6.2 Gradasi rapat

Gradasi rapat, merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang seimbang, sehingga dinamakan juga agregat bergradasi baik. Gradasi rapat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi, kurang kedap air, sifat drainase jelek, dan berat volume besar.

2.6.3 Gradasi senjang

Gradasi senjang (*gap graded*), merupakan campuran yang tidak memenuhi dua kategori di atas. *Aggregate* bergradasi buruk yang umum digunakan untuk lapisan perkerasan lentur merupakan campuran dengan satu fraksi hilang atau satu fraksi sedikit. Gradasi seperti ini juga disebut gradasi senjang. Gradasi senjang akan menghasilkan lapis perkerasan yang mutunya terletak antara kedua jenis di atas. Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang diberikan dalam Tabel 5 berikut ini. Pada penelitian ini digunakan campuran Laston AC-BC gradasi halus.

Tabel 5. Gradasi agregat gabungan campuran aspal



Ukuran Ayakan (mm)	(%) Berat yang Lolos Terhadap Total Agregat dalam Campuran Lapis Aspal Beton (AC)					
	Gradasi Halus			Gradasi Kasar		
	WC	BC	BASE	WC	BC	BASE
37,5	-	-	100	-	-	100
25	100.00	100	90-100	-	100	90-100
19	100	90-100	73-90	100	90-100	73-90
12,5	90-100	74-90	61-79	90-100	71-90	55-76
9,5	72-90	64-82	47-67	72-90	58-80	45-66
4,75	54-69	47-64	39,5-50	43-63	37-56	28-39,5
2,36	39,1-53	34,6-49	30,8-37	28-39,1	23--34,6	19-26,8
1,18	31,6-40	28,3-38	24,1-28	19-25,6	15-22,3	12-18,1
0,600	23,1-30	20,7-28	17,6-22	13-19,1	10-16,7	7-13,6
0,300	15,5-22	13,7-20	11,4-16	9-15,5	7-13,7	5-11,4
0,150	9-15	4-13	4-10	6-13	5-11	4,5-9
0,075	4-10	4-8	3-6	4-10	4-8	3-7

sumber: Dokumen pelelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan

Tabel 6. Ketentuan viskositas dan temperatur aspal untuk pencampuran

2.7 Suhu / Temperatur

Aspal mempunyai kepekaan terhadap perubahan suhu / temperatur, karena aspal adalah material yang termoplastis. Aspal akan menjadi

keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau cair bila temperature bertambah. Setiap jenis aspal mempunyai kepekaan terhadap temperature berbeda-beda, karena kepekaan tersebut dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspalnya, walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu. Pemeriksaan sifat kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur perlu dilakukan sehingga diperoleh informasi tentang rentang temperatur yang baik untuk pelaksanaan pekerjaan. Pada Tabel 6 ini memperlihatkan nilai viskositas aspal dan batasan suhu selama pencampuran, penghamparan, dan pemadatan pada proses pelaksanaan pekerjaan perkerasan jalan.

No	Prosedur Pelaksana	Viskositas Aspal (PA.S)	Suhu Campuran (°C) Pen 60/70
1	Pencampuran benda uji Marshall	0,2	155±1
2	Pemadatan Benda uji Marshall	0,4	140±1
3	Pencampuran rentang temperatur sasaran	0,2-0,5	145-155
4	Menuangkan campuran dari laboratorium/AMP kedalam truck	±0,5	135-150
5	pasokan ke alat penghamparan (paver)	0,5-1,0	130-150
6	Penggilasan awal (Roda baja)	1-2	125-145
7	Penggilasa kedua (Roda karet)	2-20	100-125
8	Penggilasan akhir (Roda baja)	<20	>95

sumber: Dokumen pelelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan

2.8 Karakteristik Campuran Beraspal

Tujuan karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas, keawetan atau durabilitas, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air, dan kemudahan pelaksanaan (*workability*). Karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton campuran panas adalah:

2.8.1 Stabilitas

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang maka kadar aspal yang dibutuhkan pun rendah. Hal ini menghasilkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitas menjadi rendah. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel, dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal.

2.8.2 Durabilitas (Keawetan/Daya Tahan)

Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan dapat mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air, dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah:

1. VIM kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh (getas).
2. VMA besar sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya *bleeding* cukup besar, untuk mencapai VMA yang besar ini digunakan agregat bergradasi senjang.
3. Film (selimut) aspal, film aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang durabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi besar.

2.8.3 Fleksibilitas (Kelenturan)

Fleksibilitas pada lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume.

Untuk mendapatkan fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan:

- a. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar.
- b. Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi yang tinggi).
- c. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VIM yang kecil.

2.8.4 Kekesatan

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan (basah)

maupun di waktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antara permukaan jalan dengan roda kendaraan. Tingginya nilai tahanan geser ini dipengaruhi oleh:

- a. Penggunaan agregat dengan permukaan kasar.
- b. Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*.
- c. Penggunaan agregat kasar yang cukup.

2.8.5 *Fatigue Resistance* (Ketahanan Kelelahan)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*rutting*) dan retak. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah:

- VIM yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.
- VMA dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.

2.8.6 Kedap Air

Kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat.

2.8.7 *Workability* (Kemudahan Pelaksanaan)

Kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. *Workability* ini dipengaruhi oleh gradasi agregat. Agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan daripada agregat bergradasi lain.

2.9 Volumetrik Campuran Aspal Beton

Volumetrik campuran beraspal yang dimaksud adalah volume benda uji campuran yang telah dipadatkan. Kinerja aspal beton sangat ditentukan oleh volumetrik campuran aspal beton padat yang terdiri dari:

2.9.1 Berat Jenis

2.9.1.1 Berat jenis *bulk* agregat

Berat jenis *bulk* adalah perbandingan antara berat bahan di udara (termasuk rongga yang cukup kedap dan yang menyerap air) pada satuan volume dan suhu tertentu dengan berat air suling serta volume yang sama pada suhu tertentu pula. Karena agregat total terdiri dari atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda maka berat jenis *bulk* (G_{sb}) agregat total dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Keterangan:

Gsb = Berat jenis *bulk* total agregat

P1, P2 n = Persentase masing-masing fraksi agregat

G1, G2 n = Berat jenis bulk masing-masing fraksi agregat

2.9.1.2 Berat jenis efektif agregat

Berat jenis efektif adalah perbandingan antara berat bahan di udara (tidak termasuk rongga yang menyerap aspal) pada satuan volume dan suhu tertentu dengan berat air destilasi dengan volume yang sama dan suhu. tertentu pula, yang dirumuskan :

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Keterangan:

Gse = Berat jenis efektif agregat

Pmm = Persentase berat total campuran (=100)

Gmm = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara 0 (No)

Pb = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum

Gb = Berat jenis aspal

2.9.1.3 Berat jenis maksimum campuran

Berat jenis maksimum campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung dengan menggunakan berat jenis efektif (Gse) rata-rata sebagai berikut:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots$$

Keterangan:

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara 0 (No1).

P_{mm} = Persentase berat total campuran (=100)

P_b = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum.

P_s = Kadar agregat persen terhadap berat total campuran.

G_{se} = Berat jenis efektif agregat.

G_b = Berat jenis aspal.

2.9.2 Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total tidak terhadap campuran yang dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} \times G_b \dots\dots\dots$$

Keterangan:

P_{ba} = Penyerapan aspal, persen total agregat

G_{sb} = Berat jenis *bulk* agregat

G_{se} = Berat jenis efektif agregat

G_b = Berat jenis aspal

2.9.3 Kadar Aspal Efektif

Kadar efektif campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi

jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya menentukan kinerja perkerasan aspal. Kadar aspal efektif ini dirumuskan sebagai berikut :

$$P_{be} = P_b \times \frac{ba}{100} \times P_s \dots\dots\dots$$

Keterangan:

P_{be} = Kadar aspal efektif, persen total agregat.

P_b = Kadar aspal persen terhadap berat total campuran.

P_{ba} = Penyerapan aspal, persen total agregat.

P_s = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran.

2.9.4 Rongga di antara Mineral Agregat (VMA)

Rongga di antara mineral agregat (VMA) adalah ruang diantara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan Berat Jenis *Bulk* Agregat dan dinyatakan sebagai persen volume *bulk* campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total. Perhitungan VMA terhadap campuran total dengan persamaan :

1. Terhadap berat campuran total

$$VMA = 100 \times \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots$$

Keterangan:

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume *bulk*.

Gsb = Berat jenis *bulk* agregat.

Gmb = Berat jenis *bulk* campuran padat.

Ps = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran

2. Terhadap berat agregat total

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100 + P_b)} \times 100 \dots\dots\dots$$

Keterangan:

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume *bulk*

Gsb = Berat jenis *bulk* agregat

Gmb = Berat jenis *bulk* campuran padat

Pb = Kadar aspal persen terhadap berat total campuran

3. Rongga Di Dalam Campuran (VIM)

Rongga di dalam campuran atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara di antara pertikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam persen dapat ditentukan dengan rumus:

$$VIM = 100 \times \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots$$

Keterangan :

VIM = Rongga udara campuran, persen total campuran.

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran agregat rongga udara 0 (Nol).

G_{mb} = Berat jenis *bulk* campuran padat.

4. Rongga Terisi Aspal (VFA)

Rongga terisi aspal adalah persen rongga yang terdapat di antara partikel agregat yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Untuk mendapatkan rongga terisi aspal (VFA) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$VFA = \frac{100 (VMA - VIM)}{G_{mm}} \dots\dots\dots$$

Keterangan:

VFA = Rongga terisi aspal.

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume *bulk*.

VIM = Rongga udara campuran, persen total campuran.

2.10 Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal rencana merupakan perkiraan awal kadar aspal optimum dapat

direncanakan setelah dilakukan pemilihan dan pengabungan pada tiga fraksi

agregat. Sedangkan perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K \dots\dots\dots$$

Keterangan:

P_b = Perkiraan kadar aspal optimum.

CA = Nilai presentase agregat kasar.

FA = Nilai presentase agregat halus.

FF = Nilai presentase *Filler*.

K = konstanta (kira-kira 0,5 - 1,0). Hasil perhitungan P_b dibulatkan ke 0,5% ke atas terdekat.

2.11 Metode *Marshall*

Metode *marshall* ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suatu perkerasan lentur. Metode *marshall* ini terdiri dari uji *marshall* dan parameter *marshall* yang dijelaskan sebagai berikut:

2.11.1 Uji *Marshall*

Rancangan campuran berdasarkan metode *Marshall* ditemukan oleh Bruce Marshall. Pengujian Marshall bertujuan untuk mengukur daya tahan (stabilitas) campuran agregat dan aspal terhadap kelelahan plastis (*flow*). *Flow* didefinisikan sebagai perubahan deformasi atau regangan suatu campuran mulai dari tanpa beban, sampai beban maksimum. Alat *marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi

dengan *Proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flowmeter* untuk mengukur keelehan plastis atau *flow*. Benda uji *marshall standart* berbentuk silinder berdiameter 4 inci (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inci (6,35 cm).

2.11.1.1 Parameter Pengujian Marshall

Sifat-sifat campuran beraspal dapat dilihat dari parameter-parameter pengujian *marshall* antara lain :

2.11.1. 1a Stabilitas *marshall*

Menurut *The Asphalt Institute*, Mudianto (2004), Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban yang bekerja tanpa mengalami deformasi permanen seperti gelombang, alur ataupun *bleeding* yang dinyatakan dalam satuan kg atau lb. Nilai stabilitas diperoleh dari hasil pembacaan langsung pada alat *Marshall Test* sewaktu melakukan pengujian *Marshall*. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku sehingga tingkat keawetannya berkurang.

2.11.1. 1b Kelelahan (*Flow*)

Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas, nilai *flow* merupakan nilai dari masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum *dial* (dalam satuan mm) pada saat melakukan pengujian *Marshall*. Suatu campuran yang memiliki kelelahan yang rendah akan lebih kaku dan cenderung untuk mengalami retak dini pada usia pelayanannya, sedangkan nilai

kelelehan yang tinggi mengindikasikan campuran bersifat plastis.

2.11.1. 1c Marshall quotient

Marshall Quotient merupakan hasil perbandingan antara stabilitas dengan kelelehan (*flow*). Semakin tinggi MQ, maka akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan. Berikut ini persamaan untuk nilai MQ:

$$MQ = \frac{S}{F} \dots \dots \dots ($$

Keterangan:

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm).

S = Nilai stabilitas terkoreksi (kg).

F = Nilai flow (mm).

1. Rongga terisi aspal / *Void Filled with Asphalt* (VFA)

Rongga terisi aspal/ *Void Filled with Asphalt* (VFA) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat.

2. Rongga antar agregat / *Void in Mineral Aggregate* (VMA)

Rongga antar agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat).

3. Rongga udara di dalam campuran / *Voids In Mix* (VIM)

Rongga udara dalam campuran (V_a) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri dari atas ruang udara diantara partikel

agregat yang terselimuti aspal.

2.12 Penelitian Terkait

Penelitian-penelitian tentang pengaruh variasi temperatur pada proses pencampuran terhadap campuran aspal panas (*asphalt hotmix*) yang pernah dilakukan oleh beberapa peneliti dan dapat dijadikan acuan atau literature untuk penyusunan skripsi / penelitian ini diantaranya:

- a. Susilo, Joko. Pada Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Universitas Riau dengan judul *–Pengaruh Variasi Suhu Pencampuran Dan Pemadatan Campuran Beraspal Panas Menggunakan Aspal Retona Blend 5”*.2010. Penelitian ini Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Riau, dengan dasar menggunakan metode pengujian yang mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan cara mengidentifikasi semua permasalahan dan hasilnya berdasarkan fakta dan data yang diperoleh dari hasil pengujian yang ada serta berdasarkan studi pustaka dan data pendukung lainnya. Variasi kadar aspal yang akan digunakan adalah sebanyak 5 (lima) buah variasi kadar aspal dengan rentang per variasi adalah 0,5%, dimana kadar aspal awal digunakan sebagai titik tengah, sehingga variasi kadar aspal yang akan digunakan adalah 4,5%; 5%; 5,5%; 6% dan 6,5%. Variasi suhu yang akan digunakan berpatokan pada variasi suhu pencampuran dan pemadatan campuran beraspal yang diperoleh dari uji viskositas. Pengujian viskositas aspal

Retona Blend 55 diperoleh temperatur suhu pencampuran dari nilai viskositas 170 Cst sebesar 170°C sedangkan untuk temperatur suhu pemadatan dari nilai viskositas 280 Cst sebesar 156°C. Toleransi temperatur suhu untuk suhu pencampuran dan pemadatan sebesar $\pm 5^\circ\text{C}$.

- b. M. Zainul Arifin, dkk. 2012 Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya alang dengan judul —*Pengaruh Penurunan Suhu (Dengan dan Tanpa Pemanasan) terhadap Parameter Marshall Campuran Aspal Beton* — penelitian ini penelitian ini mengamati variasi suhu awal dari 50°C sampai 100°C dengan interval 10°C. Dalam rentang suhu tersebut akan diperoleh suhu optimum. Variasi penurunan suhu yang dilakukan adalah 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C, dan 110°C. Penentuan variasi penurunan suhu yang paling rendah adalah 50°C. Sedangkan variasi suhu tertinggi diambil 110°C, hal ini berdasarkan dari SKBI – 2.4.26.1987 bahwa pemadatan dilakukan pada saat suhu campuran minimum 110°C. Penurunan suhu tanpa pemanasan ulang, masing – masing campuran didiamkan sampai suhu 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C dan 110°C lalu masing-masing campuran tersebut dipadatkan. Untuk campuran beraspal yang mengalami penurunan suhu dengan pemanasan ulang, masing-masing campuran didiamkan sampai suhu 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C lalu masing –

masing campuran tersebut dipanaskan lagi sampai suhu pemadatan minimum yaitu 110°C . Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut : Campuran LASTON dengan kadar aspal 6% yang mengalami penurunan suhu lalu dipanaskan ulang akan menghasilkan suhu optimum yang berbeda bila dibandingkan dengan campuran yang tidak dipanaskan ulang. Suhu optimum untuk campuran yang tidak dipanaskan ulang adalah $104,81^{\circ}\text{C}$ sedangkan untuk campuran yang dipanaskan ulang sampai suhu 110°C adalah 75°C . Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan pemanasan ulang sangat berpengaruh karena campuran beraspal yang telah mencapai suhu rendah membutuhkan banyak aspal untuk mencapai ikatan agregat yang optimal.

- c. Campuran yang tidak dipanaskan ulang nilai VIM nya tidak ada yang memenuhi spesifikasi SNI, sedangkan nilai stabilitas yang memenuhi spesifikasi adalah yang berada di atas suhu $99,515^{\circ}\text{C}$ dan untuk nilai MQ yang memenuhi adalah yang diatas $99,62^{\circ}\text{C}$. Untuk nilai VMA, dan kelelahan (*flow*) semuanya memenuhi spesifikasi. Sedangkan untuk campuran dengan pemanasan ulang, nilai stabilitas, VMA, dan kelelahan (*flow*) semuanya memenuhi spesifikasi. Sedangkan untuk Nilai VIM dan MQ tidak ada yang masuk dalam spesifikasi.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya PT.KHAYANA MULTI PRIMA, Sibolga, Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara.

3.2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini :

1. Agregat kasar yang digunakan berasal dari PT.KHAYANA MULTI PRIMA, Sibolga, Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara.
2. Agregat halus yang digunakan berasal dari PT.KHAYANA MULTI PRIMA, Sibolga, Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara.
3. Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal keras penetrasi 60/70.
4. *Filler* atau material lolos saringan No. 200 yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Portland Cement*.

3.3.Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

3.3.1 Alat Uji Pemeriksaan Aspal

Alat uji pemeriksaan aspal yaitu: alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis (piknometer), dan alat uji kehilangan berat (pemanas).

3.3.2 Alat Uji Pemeriksaan Agregat

Alat uji pemeriksaan agregat yaitu: Satu set saringan (*Sieve Analysis*), tes keausan agregat (*Los Angeles Tests Machine*), alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas), *Aggregate Impact Machine*, *Aggregate Crushing Machine*, dan alat pengukur kepipihan (*Thickness Gauge*).

3.3.3 Alat Uji Karakteristik Campuran Beraspal

Alat uji karakteristik campuran beraspal yaitu menggunakan seperangkat alat dalam pengujian untuk metode *Marshall*, meliputi:

3.3.3.1 Alat *Marshall* yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji *flowmeter*.

3.3.3.2 Alat cetak benda uji berbentuk silinder dengan diameter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm).

3.3.3.3 Alat penumbuk *Marshall* otomatis yang digunakan untuk pemadatan campuran.

3.3.3.5 Ejektor untuk mengeluarkan benda uji dari cetakan setelah

proses pemadatan.

3.3.3.6 Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu.

3.3.3.7 Alat-alat penunjang yang meliputi kompor, *thermometer*, *oven*, sendok pengaduk, sarung tangan anti panas, kain lap, *panic* pencampur, timbangan, dan jangka sorong.

3.4. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan mulai dari awal sampai akhir dijelaskan sebagai berikut:

3.4.1 Persiapan

Persiapan yang dilakukan yaitu persiapan pustaka, bahan, dan alat-alat yang digunakan. Persiapan bahan ini meliputi (aspal keras, agregat kasar, agregat halus, dan *filler*) yaitu dengan mendatangkan bahan dari sumbernya ke Laboratorium Inti Jalan Raya Fakultas Teknik Politeknik Negeri Medan dan kemudian menyiapkan bahan-bahan tersebut sebelum diuji dan digunakan dalam campuran beraspal.

3.4.2 Pengujian Bahan

3.4.2.1 Pengujian Aspal

3.4.2.1.1 Uji penetrasi

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan penetrasi aspal keras dengan memasukkan jarum penetrasi ukuran tertentu, beban dan waktu tertentu kedalam aspal pada suhu tertentu yang menggunakan seperangkat alat uji penetrasi.

3.4.2.1.2 Pemeriksaan berat minyak dan aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menetapkan kehilangan berat minyak dalam aspal dengan cara pemanasan pada tebal tertentu, yang dinyatakan dalam persen dari berat semula.

3.4.2.1.3 Daktilitas bahan-bahan aspal

Tujuan percobaan ini adalah untuk mengetahui sifat kohesi dan kuat tarik aspal dengan cara mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi bitumen keras pada suhu dan kecepatan tarik tertentu.

3.4.2.1.4 Titik lembek aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan titik lembek aspal yang berkisaran antara 30 oC sampai 200 oC . Yang dimaksud dengan titik lembek adalah suhu pada bola baja, dengan berat tertentu, mendesak turun sehingga lapisan aspal yang tertahan dalam ukuran cincin berukuran tertentu, sehingga aspal tersebut menyentuh plat dasar yang terletak dibawah cincin pada tinggi tertentu, sebagai akibat dari pemanasan yang dilakukan

3.4.2.1.5 Pemeriksaan berat jenis aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis aspal dengan menggunakan piknometer. Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu.

3.4.2.2 Pengujian Agregat

3.4.2.2.1 Berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan agregat halus

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis pada agregat kasar dan halus pada kondisi SSD (*Surface Saturated Dry*), kondisi kering (*Bulk Spesific Gravity Dry*), kondisi semu (*Apperant Spesific Gravity*), dan penyerapan (*absorbtion*) dari agregat kasar dan halus.

3.4.2.2.2 Pemeriksaan agregat terhadap tumbukan (*Aggregate Impact Value*)

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan nilai kekuatan relative agregat terhadap *tumbukan* dengan menyatakan nila AIV.

3.4.2.2.3 Pemeriksaan kuat agregat terhadap tekanan ACV (*Aggregate Crushing Value*).

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan nilai kuat relative agregat terhadap tekanan dengan menyatakan nilai ACV.

3.4.2.2.4 Pemeriksaan keausan agregat

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan mempergunakan mesin *Los Angeles*. Keausan tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan no.12 terhadap berat semula dalam persen.

- 3.4.2.2.5** Indeks kepipihan (*Flakyness*) Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan indeks kepipihan agregat.
- 3.4.2.2.6** Analisis saringan agregat halus dan kasar Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui butiran (gradasi) agregat halus dan kasar dengan menggunakan saringan.



Tabel 7. Standar pemeriksaan agregat

No	Jenis Pengujian	Standar Uji	Syarat
1	Analisa Saringan	SNI 03-1968-1990	-
2	Berat jenis dan Penyerapan agregat kasar	SNI 03-1969-1990	Bj bulk < 2.5
			Penyerapan > 3%
3	Berat jenis dan Penyerapan agregat halus	SNI 03-1970-1990	Bj bulk < 2.5
			Penyerapan > 5%
4	Tes Abrasi	SNI 03-2417-1990	Maks. 40%
5	Aggregate Impact Value (AIV)	BS 812:part 3:1975	Maks. 30%
6	Aggregate crushing value (ACV)	BS 812:part 3:1975	Maks. 30%
7	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Min. 95%
8	Partikel Pipih dan Lonjong	ASTM D4791	Maks. 10%

sumber: Dokumen pelelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan konstruksi

BAB VII spesifikasi umum 2010 divisi 6

3.4.3 Menentukan Fraksi Agregat

Persentase fraksi agregat yang akan di gunakan pada penelitian ini adalah sesuai dengan spesifikasi yang digunakan yaitu AC-BC (*Asphalt Concrete - Binder Course*). Berikut adalah Tabel 9 yaitu gradasi agregat untuk campuran LASTON.

Tabel 8. Gradasi agregat untuk campuran

LASTON

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos Terhadap Total Agregat dalam Campuran Lapis Aspal Beton (AC)						
(inch)	(m m)	Gradasi Halus			Gradasi Kasar			
		W C	BC	BASE	WC	BC	BA SE	
1½"	37,5	-	-	100	-	-	100	
1"	25	-	10-0	90-100	-	100	90-100	
¾"	19	10-0	10-0	73-90	100	90-100	73-90	
½"	12,5	10-0	74-90	61-79	90-100	71-90	55-76	
⅜"	9,5	72-90	64-82	47-67	72-90	58-80	45-66	
No.4	4,75	54-69	47-64	39,5-50	43-63	37-56	28-39,5	
No.8	2,36	39-53	34-49	30,8-37	28-39,1	23-34,6	19-26,8	

No.1	1,1	31,6-	28,3-	24,1-28	19-25,6	15-22,3	12-18,1
6	8	40	38				
No.3	0,6	23,1-	20,7-	17,6-22	13-19,1	10-16,7	7-13,6
0	00	30	28				
No.5	0,3	15,5-	13,7-	11,4-16	9-15,5	7-13,7	5-11,4
0	00	22	20				
No.1	0,1	9-15	4-13	4-10	6-13	5-11	4,5-9
00	50						
No.2	0,0	4-10	4-8	3-6	4-10	4-8	3-7
00	75						

SUMBER: Dokumen pelelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan konstruksi BAB VII spesifikasi umum 2010 tabel 6.2.2.3

3.4.4 Pembuatan Benda Uji Campuran Beraspal

3.4.4.1 Menghitung perkiraan awal kadar aspal (Pb) sebagai berikut:

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\% FF) + \text{Konstanta}$$

Keterangan: Nilai konstanta kira-kira 0,5 sampai 1,0 untuk Laston dan 2,0 sampai 3,0 untuk Lataston. Untuk jenis campuran lain gunakan nilai 1,0 sampai 2,5.

Pb : Kadar aspal tengah/ideal, persen terhadap berat campuran

CA : Persen agregat tertahan saringan No. 8.

FA : Persen agregat lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 200.

Filler : Persen agregat minimal 75% lolos No. 200.

K : Konstanta 0,5 – 1,0 untuk laston.

3.4.4.2 Setelah didapat nilai kadar aspal, selanjutnya berat jenis maksimum (BJ Max) dihitung dengan mengambil data dari percobaan berat jenis agregat halus dan agregat kasar.

3.4.4.3 Jika semua data telah didapatkan, yang dilakukan berikutnya adalah menghitung berat sampel, berat aspal, berat agregat dan menghitung kebutuhan agregat tiap sampel berdasarkan persentase tertahan.

3.4.4.4 Mencampur agregat dengan aspal pada suhu optimum 160 0C pada gradasi halus pada batas atas dan batas tengah.

3.4.4.5 Melakukan pemadatan standar dengan *Aoutomatic Marshall Compactor* terhadap sampel sebanyak 2 x 75 kali tumbukan.

3.4.4.6 Setelah itu benda uji di tes *marshall* dan di dapat nilai KAO.

3.4.4.7 Setelah di dapat nilai KAO maka pada saat pencampuran dilakukan pencampuran variasi temperatur yaitu gradasi halus pada :

- Batas atas : 155 oC, 145 oC, 135 oC.
- Batas tengah : 155 oC, 145 oC, 135 oC.

3.4.4.8 Melakukan pemadatan standar dengan *Aoutomatic Marshall Compactor* terhadap sampel sebanyak 2 x 75 kali tumbukan dengan suhu 145 0C berdasarkan penggilasan awal (*breakdown*

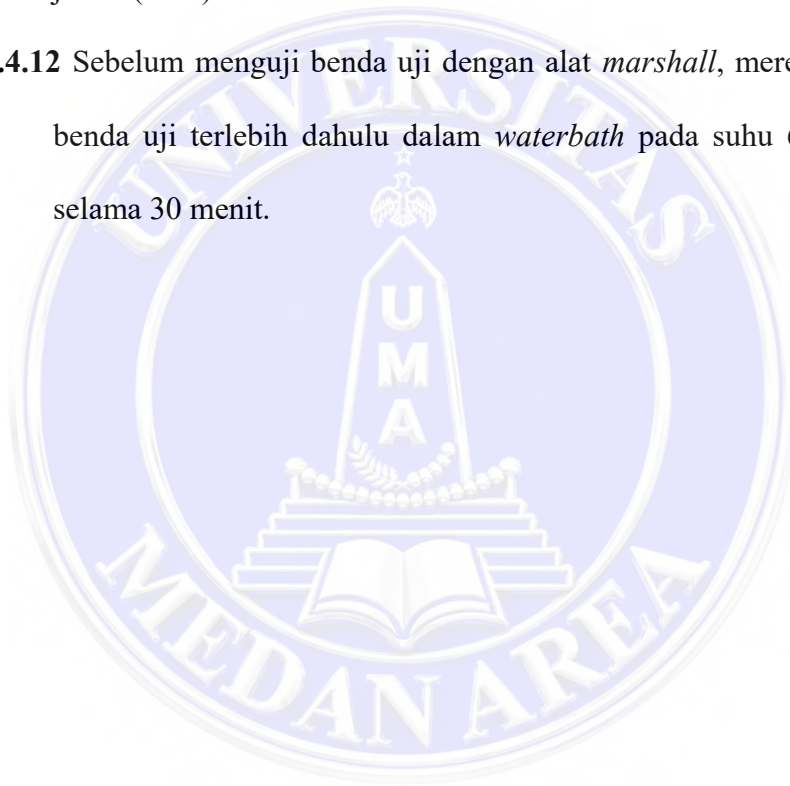
rolling) sebesar 1250C – 1450C (Spesifikasi Bina Marga 2010).

3.4.4.9 Mendiamkan benda uji terlebih dahulu agar mulai mengeras sebelum mengeluarkannya dari cetakan, dan kemudian mendiamkannya selama ± 24 jam.

3.4.4.10 Mengukur ketebalan, menimbang, dan kemudian merendam benda uji dalam air pada suhu normal selama 24 jam.

3.4.4.11 Menimbang kembali benda uji untuk mendapatkan berat jenuh (SSD).

3.4.4.12 Sebelum menguji benda uji dengan alat *marshall*, merendam benda uji terlebih dahulu dalam *waterbath* pada suhu 60 0C selama 30 menit.



3.4.5 Pemeriksaan dengan Alat *Marshall*

3.4.5.1 Pemeriksaan berat jenis campuran Setelah dilakukan pencampuran material, pembuatan benda uji dan pemadatan kedua sisi dilaksanakan, benda uji dikeluarkan dari cetakan kemudian diukur pada tiga sisi setiap benda uji dan ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji kering. Kemudian merendam benda uji di dalam bak selama 3-5 menit dan ditimbang dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air. Kemudian benda uji diangkat dan dilap sehingga kering permukaan dan didapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD).

3.4.5.2 Pengujian Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap (*flow*) dari campuran aspal sesuai dengan prosedur SNI 06-2489-1991 atau AASHTO T-245-90. Benda uji direndam selama 30 menit dengan suhu tetap 60oC (± 1 oC). Setelah itu benda uji diletakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan dengan catatan bahwa waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari bak perendam (*water bath*) maksimum tidak boleh melebihi 30ndetik. Kemudian benda uji dibebani dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan. Mencatat nilai *flow* yang ditunjukkan oleh dial pengukur *flow* pada saat pembebanan mencapai maksimum.

3.4.6 Menghitung Parameter *Marshall*

Setelah pengujian *Marshall* selesai serta nilai stabilitas dan *flow* didapat, selanjutnya menghitung parameter *Marshall* yaitu VIM, VMA, VFA, berat volume, dan parameter lainnya sesuai parameter yang ada pada spesifikasi campuran. Kemudian menggambarkan hubungan antara kadar aspal dan parameter *Marshall*, yaitu gambar hubungan antara:

- a. Kadar aspal dengan stabilitas
- b. Kadar aspal dengan *flow*
- c. Kadar aspal dengan VIM
- d. Kadar aspal dengan VMA
- e. Kadar aspal dengan VFA
- f. Kadar aspal dengan *Marshall Quotient* (MQ)

3.4.6 Pengolahan Hasil Penelitian dan Pembahasan Dari hasil penelitian di laboratorium akan diperoleh nilai parameter marshall (*Stability*, *Flow*, *Void in Mineral Agregat (VMA)*, *Void in The Mix (VIM)*, *Void Filled with Asphalt (VFA)* dan (*Marshall Quotient*) dari campuran perkerasan Laston (AC-WC) gradasi halus dengan perbedaan batas bawah dan batas tengah.

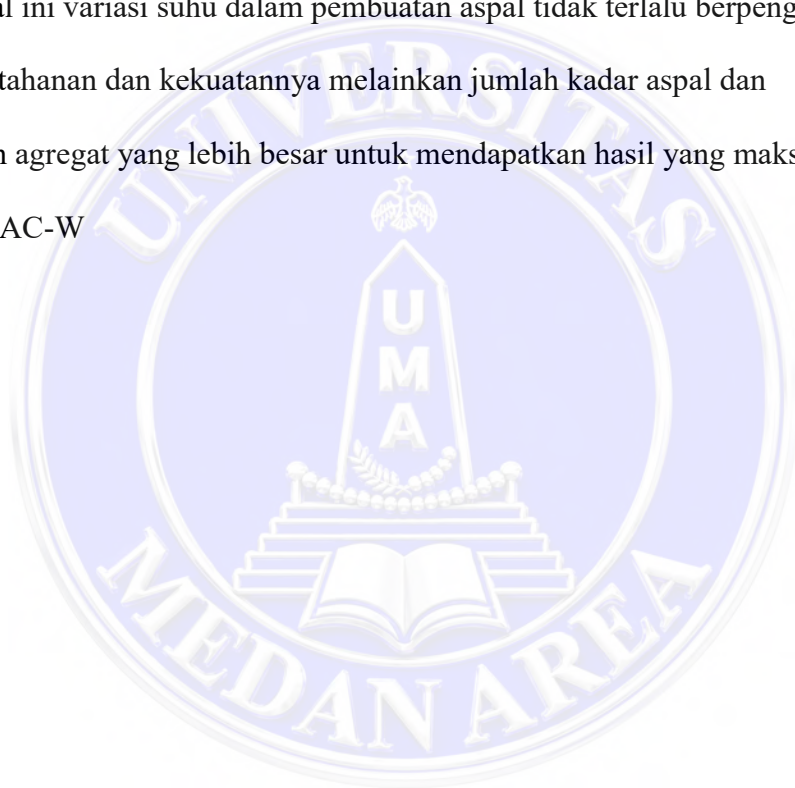
Kesimpulan Dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil peneltian dan pengujian terhadap ciri-ciri kombinasi bahan aspal yang menggunakan variasi suhu hasilnya tidak terlalu signifikan terhadap kekuatan aspal melainkan jumlah kadar aspal dan campuran agregat yang bisa dapat kadar optimal.

5.2 Saran

Dalam hal ini variasi suhu dalam pembuatan aspal tidak terlalu berpengaruh dalam ketahanan dan kekuatannya melainkan jumlah kadar aspal dan campuran agregat yang lebih besar untuk mendapatkan hasil yang maksimal terhadap AC-W



DAFTAR PUSTAKA

——,1991. *Metode Pengujian Aspal, SNI*. Departemen Pekerjaan Umum, Standar Nasional Indonesia.

——,1991.*Metode Pengujian Agregat, SNI*. Departemen Pekerjaan Umum. Standar Nasional Indonesia.

——,2010. *Dokumen Pelelangan Nasional Pekerjaan jasa pelaksanaan konstruksi BAB VII , Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6*. Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan UmumRepublik Indonesia. Jakarta.

——,2010. *Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Perkerasan Beraspal*. Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.

ASTM. 1997. Road and Paving Materials Vehicle – Pavement System. Published By The American Society of Testing Material Officials. Washington D.C.

Sukirman, Silvia. 2003, *Beton Aspal Campuran Panas, Granit*, Bandung.

